



# 目 次

## 第1章 序 論

問 題	6
-----	---

## 第2章 状 態 図

2. 1 状態図のもつ物質情報	7
2. 2 1成分系の状態図	8
2.2.1 理想気体の状態図	8
2.2.2 アルゴンの状態図	8
2.2.3 飽和蒸気圧	10
2.2.4 3重点	11
2. 3 2成分系状態図の基礎	12
2.3.1 相 律	12
2.3.2 濃 度	13
2.3.3 成分相互の溶解度	15
2.3.4 成分間の化合物	17
2. 4 重要な2元合金状態図	17
2.4.1 2元合金状態図の作成	17
2.4.2 固溶体	20
2.4.3 共 晶	23
2.4.4 包 晶	27
2.4.5 偏 晶	29
2.4.6 融体・固体ともに相互溶解度のない合金	31
2.4.7 化 合 物	32
2. 5 成分元素の蒸気圧と状態図	34
2. 6 各種状態図の間の関連	37
2. 7 3元合金の状態図	37
濃度の表し方——3元合金の状態図の表し方	
2. 8 問 題	40

## 第3章 精 製 と 分 析

3. 1 精 製	43
3.1.1 蒸 留	43

3.1.2	融 解	44
3.1.3	溶 解	44
3.1.4	凝 固	45
3.1.5	電気分解	45
3.1.6	イオン交換	46
	陽イオン交換樹脂—陰イオン交換樹脂	
3.1.7	吸 着	46
3.1.8	拡 散	46
3. 2	帯溶融	47
3.2.1	偏析係数	47
3.2.2	一方向からの固化	49
3.2.3	帯溶融精製	54
3.2.4	ゾーンレベリング	57
3.2.5	浮遊帯溶融法	58
3.2.6	化合物の帯溶融	59
3. 3	材料精製の具体例	59
3.3.1	シリコン	59
	工業用の金属シリコン—中間シリコン化合物とその精製—高純度 シリコン多結晶の作成	
3.3.2	ガリウム	62
3. 4	分析 (精製材料の評価)	65
3.4.1	湿式化学分析	66
3.4.2	発光分光分析	68
	定性分析—定量分析	
3.4.3	光吸収分析	75
	ランバート-ベールの法則—原子吸光分光分析	
3.4.4	発光X線分光分析	77
3.4.5	電子プローブX線マイクロアナリシス	80
3.4.6	オージェ電子分光法による分析	84
3.4.7	光電子分光法による分析	86
3.4.8	質量分析法	88
3.4.9	放射化分析	95
3. 5	問 題	96

## 第4章 結晶成長とその評価

4. 1	単結晶成長	99
4. 2	単結晶の成長機構	102

4.2.1	コッセル機構	102
4.2.2	結晶核の形成	103
4.2.3	フランク機構	104
4.3	種々の単結晶成長法	105
4.3.1	気相からの成長	106
	昇華法(静的)——昇華法(動的)——直接反応法——熱分解法, 還元法, 不均等化反応	
4.3.2	液相からの成長(融液からの成長)	108
	単純固合法——ブリッジマン法——引上法——ベルヌーイ法	
4.3.3	液相からの成長(溶液からの成長)	111
4.4	単結晶成長の実際	113
4.4.1	引上法(チョクラルスキー法: CZ法)によるSi単結晶の作製	113
	単結晶引上げの数値例——酸素の析出——スワール欠陥	
4.4.2	浮遊帯熔融法(FZ法)によるSi単結晶の作製	117
4.4.3	Siリボン結晶	118
4.4.4	GaPの引上げ	119
4.4.5	GaAsの溶液成長	121
4.4.6	分子線エピタキシー	123
4.5	結晶の評価	125
4.5.1	格子欠陥	128
	点欠陥——転位——小角度結晶粒界——ミスフィット転位——積層欠陥と双晶	
4.5.2	格子欠陥の観測方法	134
	光学的方法——電子線を用いる方法——X線を用いる方法——電気的方法	
4.5.3	X線トポグラフィ	136
	結晶によるX線の回折——点状焦点, 連続X線を用いるシュルツの方法——線状焦点, 単色X線を用いるベルグバレット法——ラング法——2結晶法——X線の強度変化(コントラスト)を生じる回折現象	
4.6	問 題	141

## 第5章 不純物の添加

5.1	結晶成長時における不純物の導入	143
5.1.1	状態図と固溶度	144
5.1.2	単結晶になりうる不純物添加限度	146
5.2	拡散	147
5.2.1	拡散現象	147

5. 2. 2	拡散の基礎微分方程式	148
5. 2. 3	拡散の基礎方程式の解 固体表面に存在する拡散成分が一定量 $Q$ に限定される場合——固体内 へ拡散すべき成分が無限に表面に供給され、固体表面における拡散成 分濃度が常に一定値 $N_0$ に保たれる場合	149
5. 2. 4	拡散係数の温度依存性	151
5. 2. 5	拡散係数の濃度依存性	153
5. 2. 6	拡散係数の測定	155
5. 2. 7	拡散技術 塗布法——固相よりの拡散——気相よりの拡散	158
5. 3	イオン打込み	161
5. 3. 1	イオン打込み法	161
5. 3. 2	イオン打込みの基礎現象 入射イオンのエネルギー損失——飛程の計算——チャネリング——基 板の受ける損傷	161
5. 3. 3	半導体へのイオン打込み 損傷とアニール——打込まれた不純物の電気的活性化——不純物の分 布——打込み層の電気的特性——残留欠陥	171
5. 3. 4	プロセス技術としてのイオン打込み イオン打込み装置——プロセス技術としての利点と欠点——イオン打 込みに特有の現象——関連分野	179
5. 4	不純物添加層の評価	186
5. 4. 1	表面からの測定	186
5. 4. 2	層ごとの測定	188
5. 4. 3	面内の均一性	191
5. 5	問 題	192
<b>第6章 絶縁膜の形成</b>		
6. 1	電子デバイスにおける絶縁膜の利用	195
6. 2	物質の酸化現象	198
6. 3	Si の酸化	201
6. 3. 1	Si 表面の高温酸化	201
6. 3. 2	Si の酸化機構	204
6. 3. 3	酸化における不純物の存在および結晶軸の効果	207
6. 3. 4	特殊な酸化法 増速酸化法——その他の特殊酸化法	209
6. 4	絶縁膜の堆積	213

6.4.1	気相化学反応法	213
	$\text{SiH}_4$ の酸化—有機オキシシランの熱分解— $\text{Si}_3\text{H}_8$ (窒化けい素)	
	膜の形成— $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜の形成—その他の酸化物膜	
6.4.2	物理的手段による堆積	221
	真空蒸着法—スパッタリング—その他の方法	
6.5	絶縁膜の特性と評価	226
6.5.1	膜厚の測定	226
	光干渉法—偏光解析法 (エリブソメトリー)—フレネルの公式	
6.5.2	膜の構造的性質の評価	231
	エッチング速度—赤外吸収—その他の特性	
6.6	問題	240

## 第7章 エッチング

7.1	エッチングの基本的事項	242
7.1.1	エッチングの速度	242
7.1.2	エッチングの選択性	243
7.1.3	エッチング後の形状	243
7.1.4	エッチングの後処理	244
7.2	溶液による (化学) エッチング	245
7.2.1	機械的歪層の除去	246
7.2.2	エッチビット観察用のエッチング	247
7.2.3	結晶面選択エッチング	249
7.2.4	接合構造の観察に用いるエッチング	250
7.3	ホットエッチング	250
7.3.1	ホットエッチングの概略	250
7.3.2	エッチングの精度と形状の制御	253
7.4	ドライエッチング	255
7.4.1	ドライエッチングの種類	255
	気相化学反応—ガスプラズマエッチング—イオンビームエッチング	
7.4.2	ドライエッチングの特長	259
	エッチングの機構—エッチングの選択性, 完了時点の検出—実用上の諸問題	
7.5	問題	267

## 第8章 電子素子のプロセッシング

8.1	リソグラフィ	269
-----	--------	-----

8.1.1	バッチ処理と精密加工	269
8.1.2	リソグラフィのプロセス	271
	デバイスおよび製造プロセスの設計——レイアウト設計, マスクの設計 製作——レジスト——マスク合せ装置——エッチング	
8.1.3	新しいリソグラフィ技術	280
8.2	接合形成法	283
8.2.1	接合の設計	283
8.2.2	接合形成上留意すべき事項	286
	プレーナ接合の形状——二重拡散における接合面の不均一性——接合 形成と格子欠陥	
8.3	電極と配線	289
8.3.1	金属と半導体の接触	289
8.3.2	電極の形成	291
	蒸着法——スパッタリング法——イオンプレーティング法——電極パ ターンの形成——金属薄膜の電気抵抗——電極材料の実例	
8.3.3	電極の信頼性	297
8.3.4	組立て	297
8.4	集積化の技術	300
8.4.1	歩留まりと最適集積度	300
8.4.2	設計技術	303
8.4.3	集積化の構造	306
	分離構造——埋込み構造——配線の交差——集積構造の例	
8.4.4	集積化加工プロセスの例	310
8.5	プロセス環境	312
8.5.1	欠陥と塵埃	312
8.5.2	無塵室 (クリーンルーム)	314
8.5.3	無塵度の測定	315
8.5.4	純 水	317
8.5.5	薬品, ガスの純化	317
8.6	問 題	318
	補 遺	319
	問題略解	334
	索 引	340